



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

심리학석사 학위논문

지각적 확신도가 반응정확도 및
반응시간에 미치는 영향

2018 년 8 월

서울대학교 대학원
심리학과 지각심리 전공
유 지 호

지각적 확신도가 반응정확도 및 반응시간에 미치는 영향

지도교수 오 성 주

이 논문을 심리학석사 학위논문으로 제출함
2018 년 2 월

서울대학교 대학원
심리학과 지각심리 전공
유 지 호

유지호의 심리학석사 학위논문을 인준함
2017 년 11 월

위 원 장 박 주 용 (인)

부위원장 한 소 원 (인)

위 원 오 성 주 (인)

초 록

지각적 의사결정은 그 의사결정에 대한 의사결정, 즉 메타적 의사결정을 수반한다. 지각적 의사결정이 계산적, 신경학적으로 비교적 상세히 연구되어 온 데에 비해 메타적 의사결정에 대해서는 아직 알려지지 않은 부분이 많다. 연구자들은 메타적 의사결정의 기반, 측정법, 기능에 대해 논쟁하고 있다. 본 연구에서는 메타적 의사결정을 연구하기 위해 필요한 ‘지각적 의사결정 차원에서는 동일하되 메타적 의사결정 차원에서만 차이나는’ 자극을 구현한 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)의 연구를 보완, 확장하여 메타적 의사결정과 이를 매개하는 확신도에 대해 종합적인 이해를 추구하였다. 연구 결과 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)에서 제안된 방식으로 구현된 확신도는 지각적 의사결정의 정확도, 속도, 또는 확산 모형의 지표들과 관련성을 보이지 않았으며 오히려 메타적 의사결정을 저해하였다. 반면 전통적인 방식으로 측정된 확신도는 반응속도와 밀접한 관련을 보였다. 이는 두 ‘확신도’가 서로 다른 요인에 영향을 받고 있을 가능성을 시사한다.

주요어 : 지각적 의사결정, 메타적 의사결정, 확신도, 확산 모형

학 번 : 2015-20213

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 절 메타적 의사결정 연구의 세 가지 쟁점	2
1. 메타적 의사결정의 기반	2
2. 메타적 의사결정의 측정법	9
3. 메타적 의사결정의 기능	12
제 2 장 연 구 1	15
제 1 절 연구 방법	15
제 2 절 분석	17
제 3 절 논의	20
제 3 장 연 구 2	21
제 1 절 연구 방법	21
제 2 절 분석	22
제 3 절 논의	27
제 4 장 종합 논의	28
참고문헌	32

표 목 차

[표 1]	조건 별 반응 시간 분포에 대한 확산 모형 분석 결과	25
-------	-------------------------------------	----

그 립 목 차

[그림 1]	순차적 표본추출 모형의 예시	3
[그림 2]	의사결정 시간과 확산도의 관계	5
[그림 3]	메타적 의사결정을 설명하는 신호탐지론의 두 모형	7
[그림 4]	감각자료 균등의존 모형과 선택자극 편중의존 모형의 차별적 예측	8
[그림 5]	1차 과제 수행 결과에 따른 2차 과제 수행 결과의 제약	10
[그림 6]	Meta-d'의 개념 도식	11
[그림 7]	선행연구에 사용된 실험 자극과 결과	14
[그림 8]	연구 1의 실험 절차	17
[그림 9]	연구 1와 선행 연구의 결과 비교	18
[그림 10]	난이도와 확산도에 따른 반응시간 분포 차이	19
[그림 11]	연구 2와 선행 연구의 결과 비교	23
[그림 12]	난이도와 확산도에 따른 반응시간 분포 차이	24
[그림 13]	확산도 평정을 하지 않았을 때의 반응시간 분포	27
[그림 14]	반응시간과 확산도의 관계	29
[그림 15]	확산모형이 예측하는 반응시간과 확산도의 관계	29
[그림 16]	개인별 반응시간과 확산도의 관계	30

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

생명체의 뇌-마음-행동 체계는 정보처리 시스템으로 간주될 수 있다. 이 시스템은 감각 기관을 통해 물리적 자극을 수용하고, 이를 변환하여 의미 있는 신호를 추출하며, 이를 바탕으로 판단을 내리고 행동한다. 이러한 지각적 의사결정은 먹을 수 있는 열매와 먹을 수 없는 열매를 가려내는 일부터 원하는 문장을 적기 위해 필요한 글자를 타이핑하는 일까지 가히 생활의 모든 측면을 인도하고 있다. 오랜 연구를 통해 우리는 이제 예쁜꼬마선충과 같은 단순한 생명체의 지각적 의사결정(Gewalting & Cannon, 2014) 과정이나 CCTV와 같은 인공물의 지각적 의사결정(Fuentes & Velastin, 2004) 과정을 기술하고 설명하고 예측하고 통제할 수 있는 수준에 이르렀다. 반면 인간의 지각적 의사결정에 대한 우리의 지식은, 그동안 이루어진 괄목할 만한 성과들을 고려하더라도, 아직 초보적인 수준에 머물러 있다.

인간의 지각적 의사결정을 명료하게 설명하기 어려운 까닭 중 하나는 그것이 여러 층위에 걸쳐서 일어난다는 데에 있다. 인간은 지각적 의사결정을 내릴 뿐만 아니라 그 의사결정에 대한 의사결정, 즉 메타적 의사결정을 내리기도 한다. 가령 ATM 앞에서 송금을 하기 위해 계좌번호를 누른 후(지각적 의사결정), 그러한 지각적 의사결정이 올바른 것이었는지, 즉 방금 내가 계좌번호를 실수 없이 누른 것인지 확인해볼 필요성에 대한 결정을 다시 내릴 수 있다(메타적 의사결정). 이러한 메타적 의사결정은 지각적 의사결정에 대한 확신도를 바탕으로 일어난다(Zylberberg, Barttfeld, & Sigman, 2012). 메타적 의사결정은 다시 새로운 지각적 의사결정으로 이어질 수 있다.

여러 정교한 계산적 모형들(Townsend & Ashby, 1983; Ratcliff, 1978; Van Orden, Holden, & Turvey, 2003)과 신경과학적 모형들(Gold

& Shadlen, 2007; Heekeren, Marrett, & Ungerleider, 2008)이 지각적 의사결정의 속도, 정확도, 그리고 속도-정확도의 상호작용에 대해 밝혀낸 바에 비하여 메타적 의사결정과 이를 매개하는 확신도에 대해서는 아직 많은 사실들이 알려져 있지 않다.¹⁾ 본 연구의 목적은 메타적 의사결정과 확신도를 다룬 주요한 연구 결과들을 개관하고 그 관계를 보다 구체적으로 파악하는 것이다.

제 2 절 메타적 의사결정 연구의 세 가지 쟁점

메타적 의사결정 연구의 주요 쟁점은 다음과 같다. 첫째, 메타적 의사결정의 기반이 무엇인지에 대한 문제이다. 둘째, 메타적 의사결정의 측정법이 무엇인지에 대한 문제이다. 셋째, 메타적 의사결정의 기능은 무엇인지에 대한 문제이다.

메타적 의사결정의 기반

메타적 의사결정의 기반에 대해서는 크게 두 입장이 대립해왔다. 일련의 연구자들은 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 같은 감각자료를 기반으로 삼는다고 주장했다(Vickers, 2014; Moreno-Bote, 2010). 가장 직관적인 신호탐지론의 예시를 통해 이러한 주장을 좀 더 명확히 설명할 수 있다. 타겟 자극과 방해 자극이 동시에 제시되었을 때, 신호탐지론이 그리는 의사결정자는 타겟 자극으로부터 주어지는 감각자료와 방해 자극으로부터 주어지는 감각자료의 강도 차이에 기반하여 지각적 의사결정을 내린다. 의사결정자는 이 강도 차이가 양수이면(타겟 자극 > 방해 자극)

1) 여러 연구들이 신뢰구간 추정(Moore, Teney, & Haran, 2015), 계획 세우기(Buehler, Griffin, & Peetz, 2010), 지식 수준(Kruger & Dunning, 1999) 등 다양한 영역에서 나타나는 메타적 의사결정에 대해 탐구해왔으나 본 연구에서는 주어진 감각 자극에 대해 수백 밀리초 ~ 수 초 이내로 이루어지는 지각적 의사결정에 수반하는 메타적 의사결정만을 대상으로 삼고자 한다.

타겟 자극을 선택하고, 음수이면(타겟 자극 < 방해 자극) 방해 자극을 선택한다. 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 같은 감각자료에 기반한다는 말은 메타적 의사결정 또한 바로 이러한 강도 차이를 근거삼아 일어난다는 의미이다. 즉 의사결정자는 이러한 강도 차이가 크면 높은 확신을 경험하고, 강도 차이가 작으면 낮은 확신을 경험한다는 관점이다.

Moreno-Bote(2010)은 확산 모형에 기반하여 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 같은 감각자료를 기반으로 삼는다는 주장을 옹호했다. 확산 모형(Ratcliff & McKoon, 2008)은 지각적 의사결정을 설명하는 순차적 표본추출 모형의 가장 대표적인 갈래인데, 순차적 표본추출 모형에 따르면 지각적 의사결정은 시간의 흐름에 따라 확률적으로 축적된 감각자료에 기반하여 내려진다(그림 1). 즉 정반응을 지지하는 감각자료가

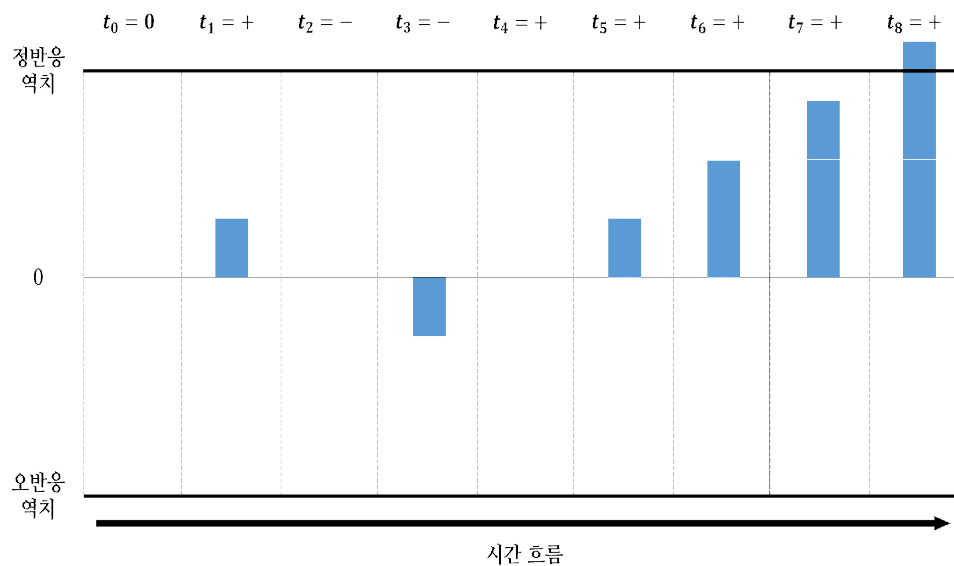


그림 1. 순차적 표본추출 모형의 예시. +는 해당 시간에 정반응을 지지하는 감각자료가 추출되었음을, -는 오반응을 지지하는 감각자료가 추출되었음을 의미한다. 정반응 또는 오반응의 추출은 확률적으로 이루어진다. 축적된 감각자료가 역치를 넘어서는 순간(t_8)에 정반응 또는 오반응의 지각적 의사결정이 내려진다. 이 예시에서는 정반응 감각자료의 축적과 오반응 감각자료의 축적이 역상관 관계에 있는데, 확산 모형도 이러한 관계를 따른다.

수집될 확률이 오반응을 지지하는 감각자료가 수집될 확률보다 크면 정반응을 내릴 확률이 높다. 그 반대의 경우 오반응을 내릴 확률이 높다. 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 같은 감각자료에 기반한다는 말은 메타적 의사결정 또한 바로 이러한 확률 차이를 근거삼아 일어난다는 의미이다. 즉 확신도는 확산 모형의 가정(Ratcliff & McKoon, 2008) 하에서 $p(\text{선택한 자극이 타겟 자극인 사건} \mid \text{의사결정을 내린 시점에서 감각자료의 축적 사건})$ 이라는 조건부 확률로 표현될 수 있다.

$$p(\mu_1 > \mu_2 | x_2, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\Delta(x_2)}{\sigma_v \sqrt{t}}} dz e^{-z^2/2}, \quad (2.1)$$

식 2.1에 따르면 의사결정자가 시점 t 에 x_2 역치에 도달하였을 때, 자극1의 평균 강도 μ_1 이 자극2의 평균 강도 μ_2 보다 실제로 컸을 확률은 x_2 역치값과 표류율(감각자료가 특정한 방향으로 수집되는 속도) σ_v 의 분산, 그리고 시간 t 에 의존한다. 이를 좀 더 직관적으로 설명하면 다음과 같다. 신호탐지론과 달리 확산 모형에서는 지각적 의사결정을 내린 시점에서 감각자료의 축적 상황이 항상 고정된 값(역치값)을 가지게 된다. 따라서 감각자료의 강도에 의존해서는 지각적 의사결정이 높은 확신을 수반할지 낮은 확신을 수반할지 판별할 수 없음을 알 수 있다. 대신 이 모형에서 감각자료의 축적 상황과 관련되는 것은 의사결정이 일어나는 시점이다. 그림 1을 보면 두 확률의 차이가 클수록 한 쪽으로 감각자료가 빠르게 축적되어 지각적 의사결정이 빨리 일어나고 차이가 작을수록 두 역치 사이를 오랫동안 갈팡질팡하여 의사결정이 늦어지는 결과가 나타남을 추론할 수 있다. 이 관계를 좀 더 명확히 하기 위해 x_2 , σ_v 을 특정값으로 고정시켜 놓고 의사결정이 일어난 시점 t 에 따른 확신도 $p(\mu_1 > \mu_2 | x_2, t)$ 의 그래프를 그려보면 그림 2와 같은 관계가 성립함을 알 수 있다.

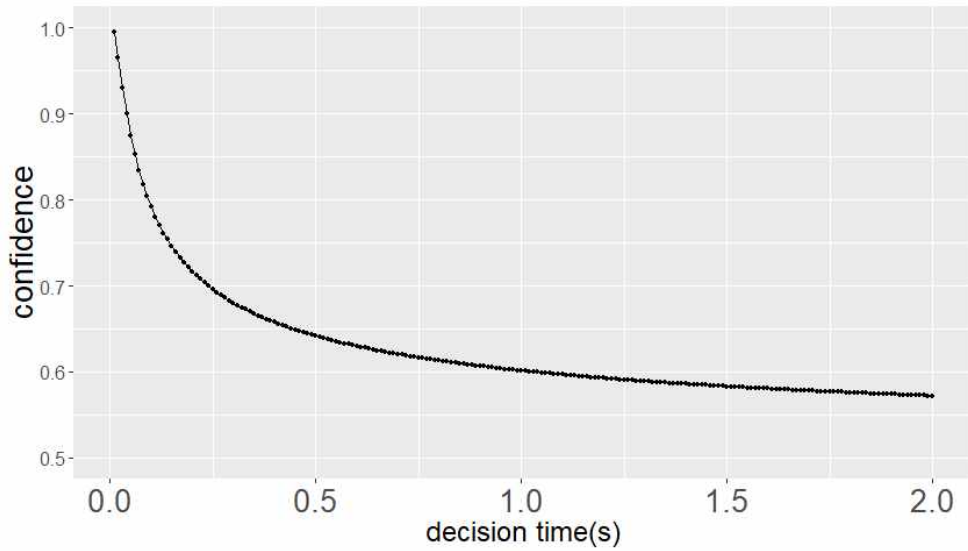


그림 2. 의사결정 시간과 확신도의 관계. $x_2 = 0.5$, $\sigma^2 = 3.8$ 로 고정한 상태. Moreno-Bote(2010) Figure 4를 편집.

한마디로 확산 모형에 따르면, 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 같은 감각자료에 근거해서 일어날 경우 지각적 의사결정에 대한 확신도는 반응시간만으로도 완전히 파악 가능하다(Zylberberg, Barttfeld, & Sigman, 2012).

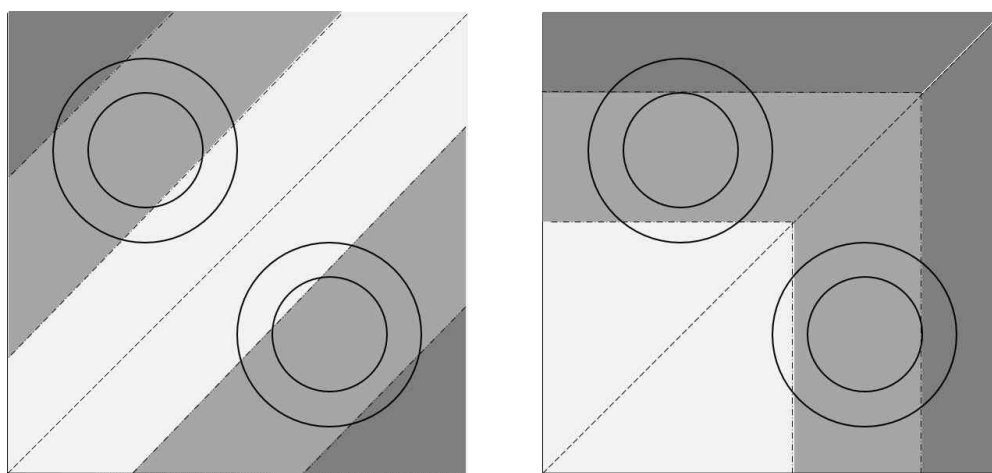
신경과학 분야의 연구 결과 역시 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 같은 감각자료에 근거해서 일어난다는 주장을 지지했다. Kiani & Shadlen(2009)은 붉은털원숭이가 안구운동을 통해 정확한 타겟 자극을 선택할 때마다 보상을 받는 실험에서, 때때로 불확실한 큰 보상을 받기를 포기하고(opt out) 확실한 작은 보상을 받을 수 있는 상황을 구현했다. 원숭이는 자신의 의사결정에 대한 확신이 높다면 불확실한 큰 보상을, 낮다면 확실한 작은 보상을 선택하는 법을 익혔다. 원숭이가 의사결정을 내리는 동안 외내두정엽피질(LIP) 뉴런들의 발화율이 측정되었는데, 지각적 의사결정과 메타적 의사결정은 동일한 뉴런들의 활동과 관련된 것으로 보였다.

반면 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 서로 다른 기반에 근거한다는 연구 역시 존재한다. Zylberberg, Barttfeld, & Sigman(2012)는 매

순간 변화하는 점들의 움직임(실험1)이나 막대들의 밝기(실험2)를 보여주고 참여자들로 하여금 점들이 움직이는 방향이나 더 밝은 막대의 위치를 맞히고 자신의 응답에 대해 어느 정도나 확신하는지를 보고하도록 했다. 이 연구에서는 자극이 매 순간 변화하였기 때문에 어느 시점의 변화, 어떤 종류의 변화가 참여자들의 지각적/메타적 의사결정에 결정적인 영향을 미쳤는지 파악할 수 있었다. 그 결과 지각적 의사결정은 자극이 제시된 시간 전체(수백 밀리초) 동안 골고루 영향을 받은 반면, 메타적 의사결정은 자극이 제시된 초기에 어떤 움직임/밝기가 제시되었는지에 주로 영향을 받았다. 또한 지각적 의사결정은 참여자가 선택한 자극의 강도와 선택하지 않은 강도의 차이에 따라 결정된 반면, 메타적 의사결정은 선택한 자극의 강도에만 영향을 받고 선택하지 않은 자극의 강도는 무시하는 것으로 밝혀졌다. 가령 참여자가 점들이 왼쪽 방향으로 움직이고 있다고 보고했을 경우, 이 참여자가 자신의 응답에 확신하는 정도는 ‘자극이 제시된 초기에 얼마나 많은 점들이 왼쪽으로 움직이고 있었는지’에 따라 달라졌고, ‘자극이 제시된 지 200-500ms가 지난 시점에 얼마나 많은 점들이 왼쪽으로 움직이고 있었는지’ 또는 ‘얼마나 많은 점들이 오른쪽으로 움직이고 있었는지’에 대한 정보는 무시되었다.

Maniscalco, Peters, & Lau(2016)은 지각적 의사결정과 메타적 의사결정의 분리에 대해 신호탐지론의 관점에서 설명을 제시하였다. 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 동일한 감각자료에 기반한다는 주장은 그림 3이 좌측과 같이 도식화할 수 있다. 그림 3은 전통적인 신호탐지론의 모형을 이차원 이변량 정규분포로 확장한 것이다. 좌상단의 동심원을 자극 S1의 감각자료, 우하단의 동심원을 자극 S2의 감각자료라 하자. 지각적 의사결정은 동심원들의 중점 사이의 거리에 따라 달라진다. 중점 사이의 거리가 멀면 더 좋은 변별력을, 가까우면 더 나쁜 변별력을 가지게 된다. 지각적 의사결정이 메타적 의사결정과 같은 감각자료에 기반한다면, 메타적 의사결정 역시 동심원들 사이의 거리에 의존하게 된다. 즉 의사결정자는 자극으로부터 수용한 감각자료가 열린 회색 부분에 속할 경우 낮은 확신도를, 중간 회색 부분에 속할 경우 중간 확신도를, 진한 회색 부

분에 속할 경우 높은 확신도를 보고할 것이다. 반면 Zylberberg, Barttfeld, & Sigman(2012)의 연구가 보여준 것처럼 메타적 의사결정이 오직 선택한 자극의 강도에만 의존한다면 그림 3의 우측과 같은 패턴을 예상해 볼 수 있다. 이 경우 의사결정자가 보고하는 확신도는 오직 S1의 강도(좌상단 삼각형) 또는 오직 S2 자극의 강도(우하단 삼각형)에만 의존하게 된다. Maniscalco, Peters, & Lau(2016)은 두 모형이 서로 대립하는 예측으로 이어질 수 있음을 보였다.

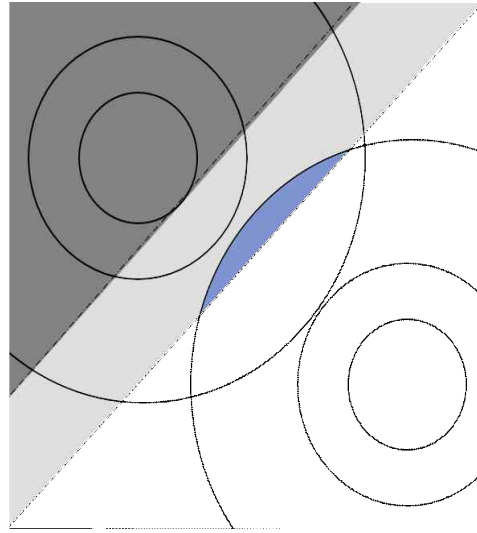
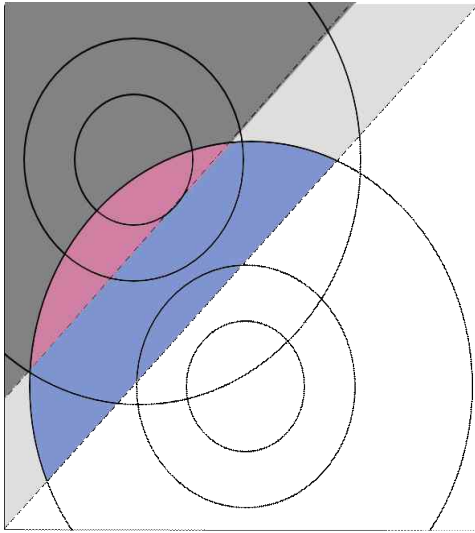


Balance of Evidence Rule

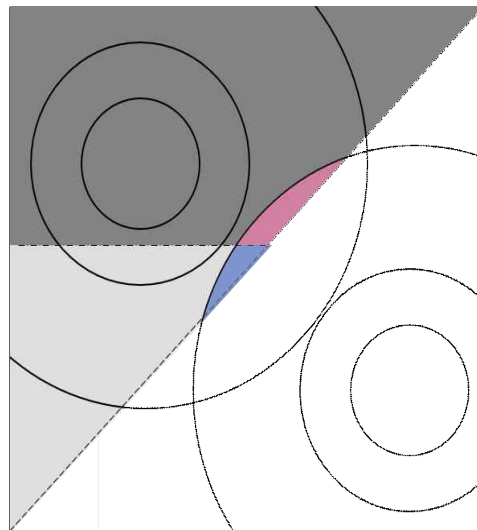
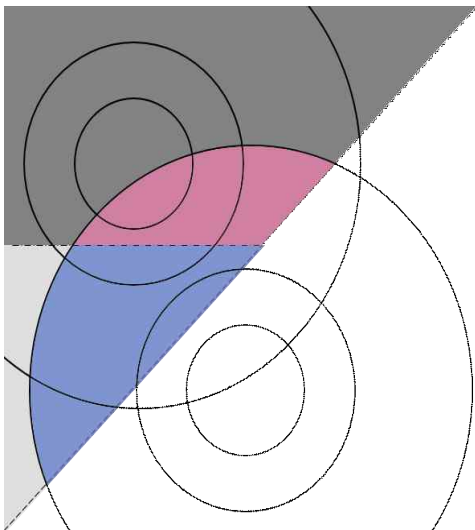
Response Congruent Evidence Rule

그림 3. 메타적 의사결정을 설명하는 신호탐지론의 두 모형. Maniscalco, Peters, & Lau(2016) Fig. 2를 편집. 감각자료 균등의존(Balance of Evidence Rule) 모형은 지각적 의사결정과 메타적 의사결정이 동일한 감각자료, 즉 두 자극의 강도차에 의존한다고 주장한다. 선택자극 편중의존(Response Congruent Evidence) 모형은 지각적 의사결정과 달리 메타적 의사결정은 선택한 자극의 강도에만 의존한다고 주장한다.

만약 우리가 좌상단의 S1 자극의 강도는 그대로 둔 채, 우하단의 S2 자극의 강도를 점차 강하게 만들어 나간다고 하자. 즉 그림 4의 왼편, 오른쪽 그림들과 같이 우하단 동심원의 중심을 가로축 왼쪽에서 오른쪽으로 이동할 것이다. 만약 메타적 의사결정이 감각자료 균등의존 모형을 따른다면 이 때 S1 자극에 대한 메타인지 정확도는 증가하게 될 것이다.



Balance of Evidence Rule



Response Congruent Evidence Rule

그림 4. S2 자극의 평균 이동에 따른 감각자료 균등의존 모형과 선택 자극 편중의존 모형의 서로 다른 예측.

그 이유는 다음과 같다. 논의를 간단히 하기 위해 의사결정자가 반응편향이 없이 중앙 대각선을 기준으로 S1 자극과 S2 자극을 변별한다고 하자. 이 때 S2 자극을 나타내는 우하단 동심원에서 중앙 대각선을 넘어간 부분은 곧 S1 자극에 대한 오경보가 된다. 좌측 그림처럼 두 동심원 사

이의 거리가 가까울 때는 이러한 오정보 중 일정 부분이 높은 확신도 보고를 수반하게 된다. 반면 우측 그림처럼 두 동심원 사이의 거리가 멀 때는 대부분의 오정보가 낮은 확신도 보고를 수반하게 된다. 그런데 만약 메타적 의사결정이 선택자극 편중의존 모형을 따른다면, 이러한 변화는 정반대로 S1 자극에 대한 메타인지 정확도 저하로 이어진다. 하단의 두 그림을 보면 동심원의 중점 간 거리가 가까울 때는 오정보 중 높은 확신도를 나타낸 부분이 차지하는 비중이 상대적으로 적은 반면, 거리가 멀 때는 높은 확신도를 나타낸 부분이 차지하는 비중이 상대적으로 높아졌음을 알 수 있다. Maniscalco, Peters, & Lau(2016)가 수행한 행동실험 결과는 선택자극 편중의존 모형을 지지했다.

메타적 의사결정의 측정법

앞서 설명한 Maniscalco, Peters, & Lau(2016)의 연구에서 메타적 의사결정의 정확도는 오정보 시행 중 고확신 시행수가 아닌 오정보 시행 중 고확신 시행 비율로 측정되었다. 이러한 측정법에 따르면 틀린 시행 100개 중 40개에 대해 높은 확신을 보고한 사람보다 틀린 시행 10개 중 8개에 대해 높은 확신을 보고한 사람이 더 낮은 메타인지 정확도를 가지고 있는 것으로 평가받게 된다. 어째서 이러한 측정방법을 사용하는 것일까?

신호탐지론의 d' 에 대응하는 메타인지 정확도 지표를 만들고자 하는 시도가 여러 차례 있어왔다. 대표적으로 널리 사용되는 방법은 각 시행의 정오와 확신도의 상관계수를 계산하는 것이다(Persaud, McLeod, & Cowey, 2007). 즉 맞힌 자극에 대해 더 높은 확신을, 틀린 자극에 대해 더 낮은 확신을 보고했을수록 메타인지 정확도가 높다는 것이다. 이러한 측정법은 직관적으로 매우 타당해보이지만 한 가지 문제점을 안고 있다. 두 자극을 변별하는 과제를 1차 과제, 자신의 변별 수행에 대한 확신도를 매기는 과제를 2차 과제라 하자. 만약 1차 과제를 수행하는 능력과 2차 과제를 수행하는 능력이 서로 독립적인 능력이라면, 1차 과제의 수행 결과는 2차 과제 수행 결과를 편중시켜서는 안 될 것이다. 그러나 그림

5를 보면 앞서 언급한 메타인지 정확도 측정법은 1차 과제 수행 결과에 의해 크게 제약됨을 알 수 있다. 그림 5의 상단은 1차 과제 수행 결과가 좋은 경우, 하단은 나쁜 경우이다. 논의의 편의를 위해 의사결정자의 1차 과제 수행에 편향은 없었다고 하자. 그렇다면 중앙 점선의 오른쪽 부분은 적중 시행과 오경보 시행이 섞여 있을 것이다. 이 중 적중을 고확신으로, 오경보를 저확신으로 보고한 비율이 높을수록 메타인지 정확도가 높다고 할 수 있을 것이다. 2차 과제에 있어서도 의사결정자는 어떤 기준점을 세우고 그 기준점 이상의 시행에 대해서는 고확신, 이하의 시행에 대해서는 저확신을 보고할 것이다. 그런데 그림 5를 보면 알 수 있듯이, 어떤 기준을 세우더라도 하단의 의사결정자는 낮은 2차 과제 적중률 또는 높은 2차 과제 오경보율을 보이게 된다.

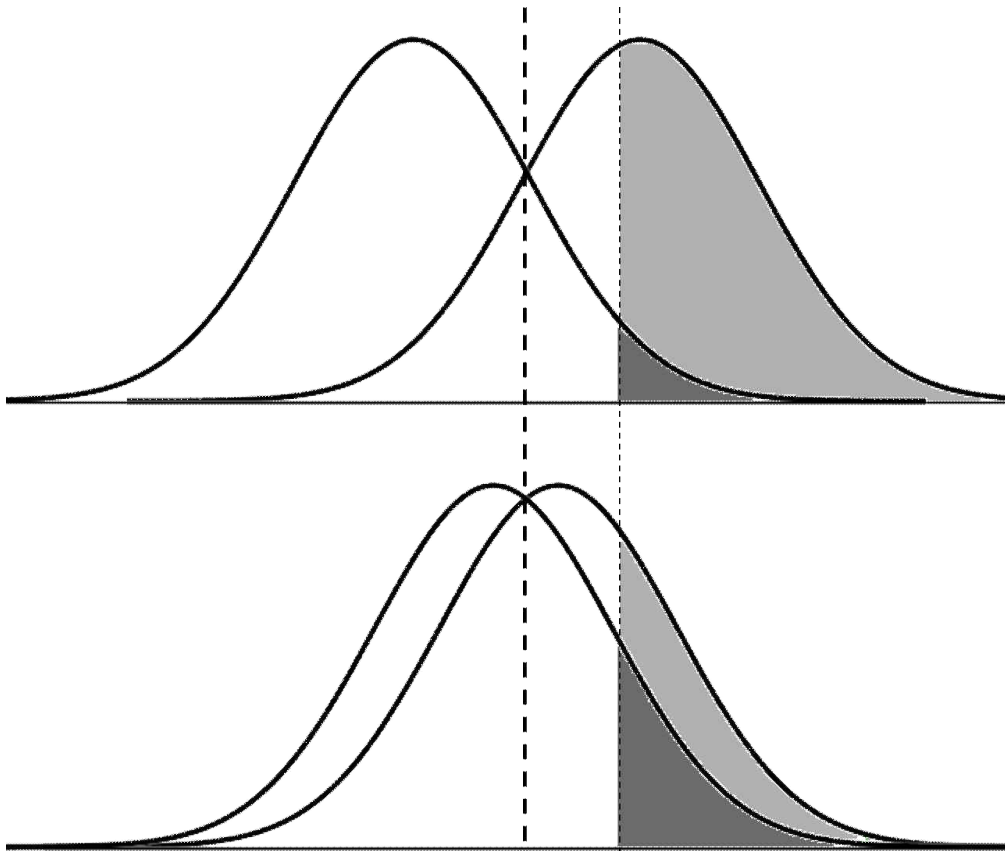


그림 5. 1차 과제 수행 결과에 따른 2차 과제 수행 결과의 제약

절대적인 메타인지 정확도는 물론 그 자체로 의미가 있는 측정치일 수 있으나, 1차 과제와 독립적인 측면을 가지고 있는 메타인지 정확도를 측정하기에는 어려움이 있다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 고안된 것이 Meta-d'이다(Maniscalco & Lau, 2012). Meta-d'은 의사결정자가 단순히 2차 과제를 얼마나 잘 수행했는가를 측정하는 대신, 1차 과제 수행 수준을 고려했을 때 2차 과제 수행에서 기대되는 수준에 비해 실제로 2차 과제를 얼마나 잘 수행했는가를 측정한다. 즉 1차 과제 수행 수준에 의해 제약되어 주어진 감각자료를 2차 과제에 얼마나 효율적으로 활용하는지에 대한 측정치라고 할 수 있다. 가령 의사결정자가 1차 과제에서 $d'=1.5$, $c=0$ 의 수행을 보였다고 할 때, 그림 5에서 고확신과 저확신을 구분하는 기준선을 $0\sim\infty$ 까지 이동시키며 $d'=1.5$ 인 의사결정자가 보일 것으로 기대되는 2차 과제에 대한 ROC 곡선을 그릴 수 있다. 다음으로 의사결정자가 실제 보인 ROC 곡선을 최소제곱법이나 최대우도법을 통해 추정한다. 마지막으로 실제 관찰된 ROC 곡선의 밑면적과 기대되는 ROC 곡선의 밑면적의 차이를 구한다. 이 차이가 크면 클수록 의사결정자가 훌륭한 2차 과제 수행을 보였다고 할 수 있다(그림 6).

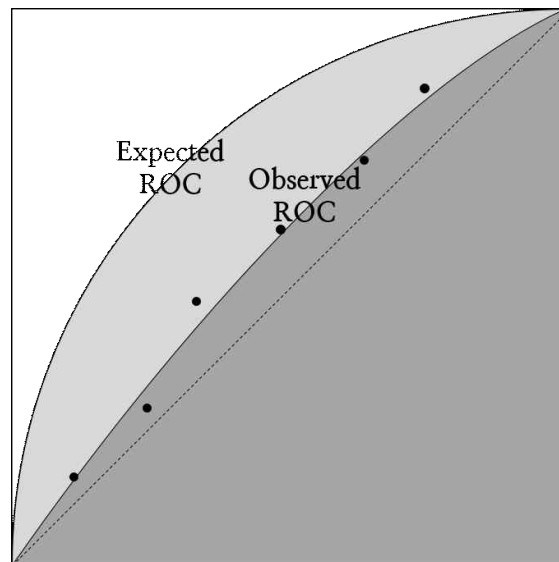


그림 6. Meta-d'의 개념을 나타낸 도식. 메타인지 정확도는 실제 AUC와 기대되는 AUC의 차이 또는 비율로 나타낼 수 있다.

메타적 의사결정의 기능

그렇다면 우리가 내린 지각적 의사결정에 대해 높고 낮은 확신도가 수반되어야 하는 이유는 무엇일까? Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)는 확신도가 높은 자극과 낮은 자극이 어떤 차이를 가지고 있는지 알아보기 위해 새로운 접근법을 제시했다. 메타적 의사결정의 기능에 대한 기존 연구들은 대부분 한 가지 핵심적인 문제에 부딪혔다. 확신도가 높은 자극과 낮은 자극의 차이를 알아보고자 한다면 우선 그러한 자극을 구성할 필요가 있는데, 문제는 확신도의 변화에 변별력의 변화가 수반한다는 점이다. 정답률이 높은 자극은 높은 확신도를 보이고, 정답률이 낮은 자극은 낮은 확신도를 보인다. 이 경우 우리가 알아보고자 했던 2차 과제에서의 확신도 차이는 1차 과제에서의 변별력 차이로 환원되어 버릴 수밖에 없다. Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)가 고안한 실험 자극은 앞서 언급했던 메타적 의사결정의 선택자극 편중의존 효과를 이용하여 이러한 문제점을 우회하였다. 그들의 연구에서 참여자들은 왼쪽 방향으로 기울어진 빗금과 오른쪽 방향으로 기울어진 빗금이 겹쳐진 자극을 33ms 동안 제시받은 후, 빗금의 두 방향 중 어느 방향이 더 진했는지를 판별하고 자신의 응답에 얼마나 확신하는지 보고하도록 요청받았다. 이때 두 빗금의 Michelson 대비도(1995)는 다음과 같이 정의되었다.

$$\begin{aligned}
 C \\
 R_{PE/noise} &= C_{PE}/C_{noise} \\
 R_{NE/PE} &= C_{NE}/C_{PE}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

여기서 C_{PE} , C_{NE} , C_{noise} 는 각각 타겟 자극, 방해 자극, 노이즈의 Michelson 대비도이다. 식 2.2는 아래와 같이 풀 수 있다.

$$\begin{aligned}
 C_{noise} &= C \\
 C_{PE} &= (R_{PE/noise} * C
 \end{aligned}$$

$$C_{NE} = (R_{NE/PE} * R_{PE/noise} * C \quad (2.3)$$

실험 조건은 고확신-쉬움, 고확신-어려움, 저확신-쉬움, 저확신-어려움의 네 조건으로 이루어졌다. 고확신 조건의 $R_{NE/PE}$ 는 0.7, 저확신 조건의 $R_{NE/PE}$ 는 0.35로 고정되었다. 따라서 식 2.3을 보면 C_{PE} , C_{NE} , C_{noise} 는 $R_{PE/noise}$ 에 따라 유일하게 결정된다고 할 수 있다. 이때 고확신 조건과 저확신 조건의 정답률이 동일하게 84%가 나오도록 두 조건의 $R_{PE/noise}$ 를 다르게 조정한다면 고확신 조건의 C_{PE} 는 저확신 조건의 C_{PE} 보다 더 높은 값을 가지게 된다. 고확신 조건의 $R_{NE/PE}$ 가 저확신 조건의 $R_{NE/PE}$ 보다 더 높기 때문에(즉 방해자극이 더 선명하기 때문에) 두 조건이 동일한 정확도를 가지기 위해서는 고확신 조건의 $R_{PE/noise}$ 가 저확신 조건의 $R_{PE/noise}$ 보다 더 높아야만 하기 때문이다. 이때 만약 의사결정자의 메타적 의사결정이 선택자극 편중의존 모형을 따른다면, 즉 확신도에 C_{NE} 는 영향을 미치지 않고 C_{PE} 만 영향을 미친다면, 동일한 정답률을 가지면서 확신도에서만 차이가 나는 조건을 구성할 수 있다. 마지막으로 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)는 확신도의 차이와 난이도의 차이가 서로 다름을 명확히 하기 위해 고확신-쉬움, 저확신-쉬움 조건의 $R_{PE/noise}$ 에 0.7을 곱하여 고확신-어려움, 저확신-어려움 조건을 구성하였다. 그 결과 참여자들은 실제로 고확신 조건과 저확신 조건에서 동일한 정답률을 보이면서도 고확신 조건에서는 높은 확신도를, 저확신 조건에서는 낮은 확신도를 보고했다. 즉 자극의 확신도와 난이도가 성공적으로 분리되었다(그림 7).

이에 따라 그들은 난이도의 영향에 오염되지 않은 고확신-저확신 자극을 사용하여 확신도와 인지적 기능의 관계를 파악하고자 했다. 확신도와 가장 관련있을 것으로 보이는 인지적 기능은 인지통제기능인데 (Dahaene & Naccache, 2001) 확신도와 인지통제 모두 전전두엽의 기능

과 관계된 것으로 여겨지고 있기 때문이다. 인지통제기능을 측정하는 대표적인 과제로는 Go/NoGo 과제가 있다. 만약 확신도와 인지통제기능 간에 관련이 있다면, 고확신 자극이 NoGo 신호로 제시되었을 때가 저확신 자극이 제시되었을 때에 비해 더 좋은 인지통제 수행을 보여야 할 것이다. 그러나 그들의 연구에서는 이러한 인지통제 수행의 차이가 발견되지 않았다.

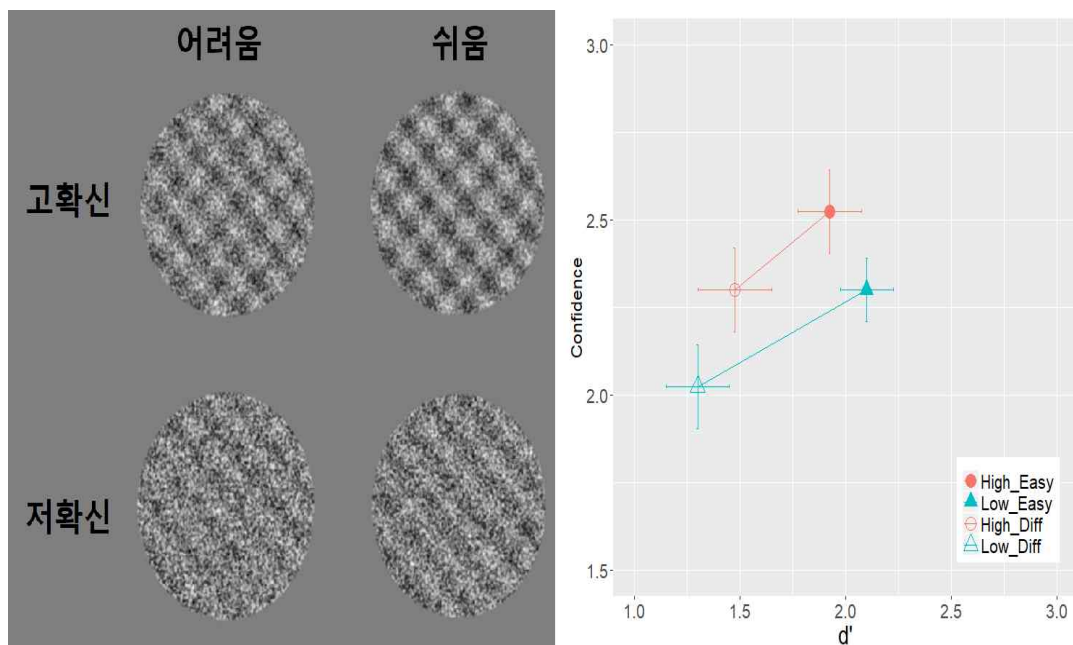


그림 7. Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)에 사용된 실험 자극과 결과. 해당논문의 Fig. 1을 편집

제 2 장 연 구 1

연구 1에서는 앞서 언급한 메타적 의사결정의 세 가지 쟁점(메타적 의사결정의 기반, 메타적 의사결정의 측정법, 메타적 의사결정의 기능)과 관련하여 앞서 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)의 연구에서 고확신 자극과 저확신 자극 간의 차이가 발견되지 않은 이유를 반응시간, 반응 정확도, 그리고 메타인지 정확도 측면에서 파악해보고자 한다. 가령 앞서 언급한 확신도와 반응시간의 관계에 대한 연구 결과들을 고려해보았을 때 고확신 자극과 저확신 자극의 차이점은 반응 정확도 대신 반응 시간 측면에서 나타날 가능성이 있다.

제 1 절 연구 방법

참여자: 서울대학교에 재학 중인 학부생 26명이 연구에 참여하였다(남성 14, 연령: 평균=21.25 표준편차=2.01). 참여자는 서울대학교 심리학 과에서 개설하는 과목을 수강 중인 학생들로 수업 참여의 일환으로 연구에 참여하고 크레딧은 승인받았다. 26명의 참여자 중 정답률이 우연 수준으로부터 1표준편차를 벗어나지 못한 2명의 참여자는 불성실한 참여가 의심되어 제거되었다. 이후의 모든 분석은 이를 제외한 24명의 참여자를 대상으로 진행하였다.

자극: 자극은 왼쪽으로 45도 기울어진 사인과 격자와 오른쪽으로 45도 기울어진 사인과 격자, 그리고 무작위 노이즈가 겹쳐진 형태로 두 방향 중 한 방향의 격자가 더 높은 Michelson 대비도를 가지고 있었다. 자극은 MATLAB의 Psychophysics Toolbox(Brainard, 1997)을 통해 제작되고 회색 배경의 모니터 정중앙에 시야각 3도 크기의 원 형태로 제시되었다(그림 7 참조).

실험 설계: 앞서 서술한 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)의 실험 설계와 동일하도록 고확신-쉬움, 고확신-어려움, 저확신-쉬움, 저확신-어려움의 2x2 참여자 내 실험 조건을 구성하였다.

실험 절차: 참여자는 연구에 대한 설명을 듣고 동의서 작성을 마친 후 총 3블록의 절차를 수행하였다. 각 블록은 오직 제시되는 자극에 대해서만 차이 났으며 참여자의 과제는 모든 블록에서 다음과 같이 동일하였다(그림 8). 참여자는 키보드의 지정된 버튼에 손을 올리고 모니터 중앙에 제시된 검은색 십자 모양의 고정점을 응시하다가 33ms 동안 자극을 제시받았다. 화면에 다시 검은색 십자 모양의 고정점이 나타나면 방금 제시된 자극에서 왼쪽 방향 격자와 오른쪽 방향 격자 중 어떤 방향 격자가 더 우세하였는지 키보드 버튼을 눌러 응답하였다(Q: 왼쪽 우세, W: 오른쪽 우세). 참여자가 방향에 대해 응답하면 십자 모양의 고정점이 흰색으로 변화하였다. 이때 참여자는 방금 한 응답에 대해 어느 정도나 확신하는지 1점(전혀 확신하지 않는다)-4점(매우 확신한다) 척도 상에서 키보드 버튼을 눌러 응답하였다(O: 1점, P: 2점, [: 3점,]: 4점). 참여자가 응답을 마치면 다음 고정점이 제시되기 전까지 750ms 동안 빈 화면이 제시되었다. 참여자는 방향과 확신도를 각각 5초 이내에 응답해야 했으며 5초가 경과하였을 경우 별도의 경고 없이 다음 시행이 진행되었다. 참여자가 방향 또는 확신도 중 하나라도 응답하지 않았을 경우 그 시행은 이후의 모든 분석에서 제외하였다(총 3840시행 중 5시행).

첫 번째 블록은 연습 블록으로 참여자는 위 절차에 따라 40시행을 수행하였다. 두 번째 블록은 조정 블록으로 참여자가 80시행을 수행하는 동안 고확신-쉬움 조건(40시행)과 저확신-쉬움 조건(40시행)의 정답률이 동일하게 84% 수준이 되도록 $R_{PE/noise}$ (고확신 조건) 값과 $R_{PE/noise}$ (저확신 조건) 값이 QUEST(Watson & Pelli, 1983) 절차를 통해 조정되었다. 고확신 시행과 저확신 시행은 무작위로 섞여 제시되었다. 세 번째 블록에서는 두 번째 블록에서 조정된 $R_{PE/noise}$ 값에 따라 고확신-쉬움 조건과 저확신-쉬움 조건이 구성되고, 두 값에 각각 0.7을 곱하여 고확신-

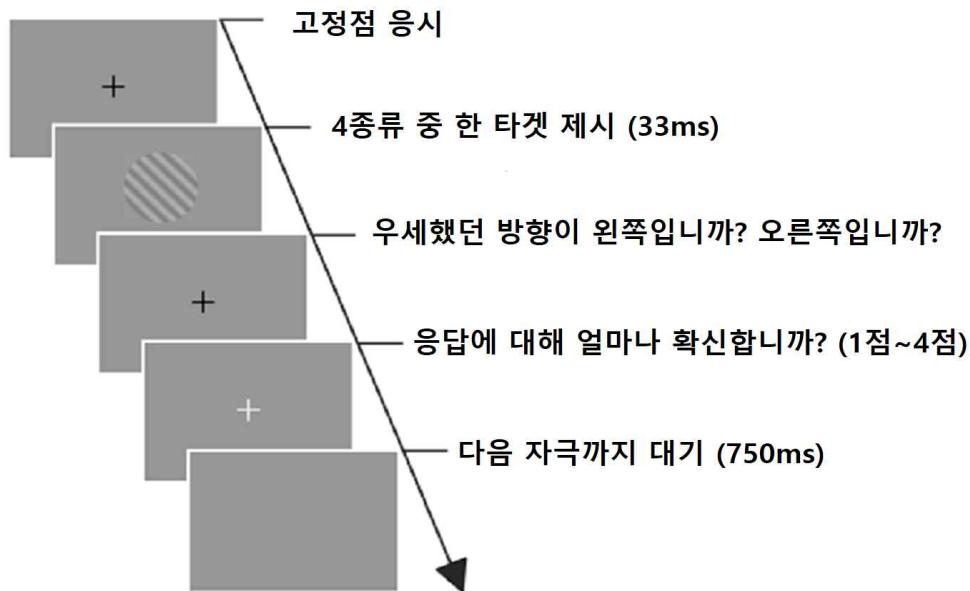


그림 8. 연구 1의 실험 절차

어려움 조건과 저확신-어려움 조건이 구성되었다. 네 종류의 시행은 무작위로 섞여 제시되었다. 참여자는 총 160시행을 진행하였으며 80시행이 끝난 후 1분 이하의 휴식 시간을 가졌다.

제 2 절 결과 분석

분석을 시작하기 전 반응 시간이 300ms 이하이거나 각 개인 별 3표준편차 이상인 시행은 제거되었다(총 3835시행 중 77시행). 평균 확신도에 대해 확신도 조건과 난이도 조건의 반복측정 이원변량분석을 수행한 결과 난이도 조건의 주효과와($F(1,23)=32.30, p<.01$) 확신도 조건과 난이도 조건의 상호작용효과($F(1,23)=7.82, p<.01$)가 발견되었다. 즉 참여자들은 쉬움 조건에 비해 어려움 조건에서 더 낮은 확신도를 보고했는데, 저확신 조건에서 저하폭이 더 컸다(고확신 조건 쉬움 2.65 ± 0.67 , 고확신 조건 어려움 2.54 ± 0.61 , 저확신 조건 쉬움 2.63 ± 0.65 , 저확신 조건 어려움 2.34 ± 0.69).

평균 d' 에 대해 확신도 조건과 난이도 조건의 반복측정 이원변량분석을 수행한 결과 난이도 조건의 주효과와($F(1,23)=30.20, p<.01$) 확신도 조건과 난이도 조건의 상호작용효과($F(1,23)=5.46, p<.01$)가 발견되었다. 즉 참여자들의 d' 은 쉬움 조건에 비해 어려움 조건에서 더 낮아졌는데, 저확신 조건에서 저하폭이 더 컸다(고확신 조건 쉬움 2.04 ± 0.93 , 고확신 조건 어려움 1.79 ± 0.94 , 저확신 조건 쉬움 2.29 ± 0.77 , 저확신 조건 어려움 1.66 ± 0.95).

정리하자면 난이도가 난이도 조건에 따라 성공적으로 조작된 것에 비해, 확신도는 확신도 조건에 따라 조작된 정도가 불충분했다고 할 수 있다. 그러나 이는 재현하고자 했던 원 논문의 시행수(960시행)에 비해 본 연구의 시행수(160시행)가 현저히 적어 통계적 검증력이 부족했기 때문으로 생각된다. 실제로 그림 9를 보면 본 연구와 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)의 결과 패턴이 매우 유사함을 확인할 수 있다. 즉 연구 1은 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)의 연구를 어느 정도 재현에 성공했다고 할 수 있다.

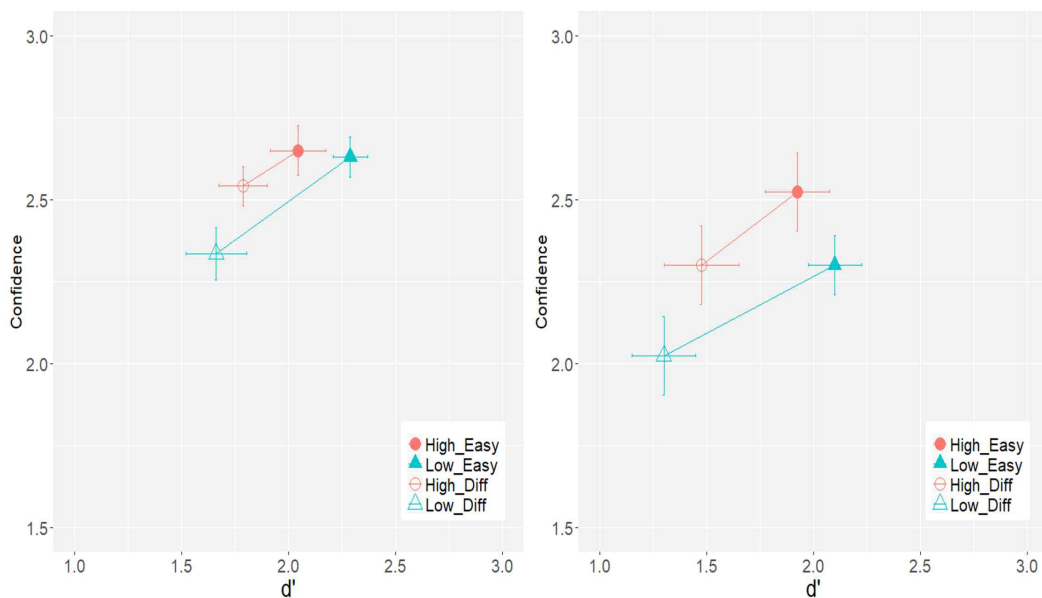


그림 9. 연구 1의 결과(좌측)와 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)(우측)의 결과 비교

다음으로 반응 시간에 대한 분석을 진행하였다. 평균 반응 시간에 대해 확신도 조건과 난이도 조건의 반복측정 이원변량분석을 수행한 결과 난이도 조건의 주효과와($F(1,23)=11.70$, $p<.01$) 확신도 조건과 난이도 조건의 상호작용효과($F(1,23)=6.61$, $p<.05$)가 발견되었다. 조건 별로 살펴보면 고확신 조건에서는 난이도 변화에 따른 반응시간 변화가 없었던 데에 반해, 저확신 조건에서는 어려운 난이도 조건에서 쉬운 난이도 조건에 비해 반응 시간이 100ms 정도 증가하였다(고확신 조건 쉬운 0.89 ± 0.48 , 고확신 조건 어려움 0.90 ± 0.45 , 저확신 조건 쉬운 0.82 ± 0.40 , 저확신 조건 어려움 0.92 ± 0.45). 반응 시간의 분포는 그림 10과 같았다. 난이도에 따라 반응시간 분포의 형태에 차이가 나는 것에 비해 확신도에 따라서는 차이가 나지 않음을 확인할 수 있다. 전체 시행수가 적어 별도의 정량적인 분석은 시행하지 않았다.

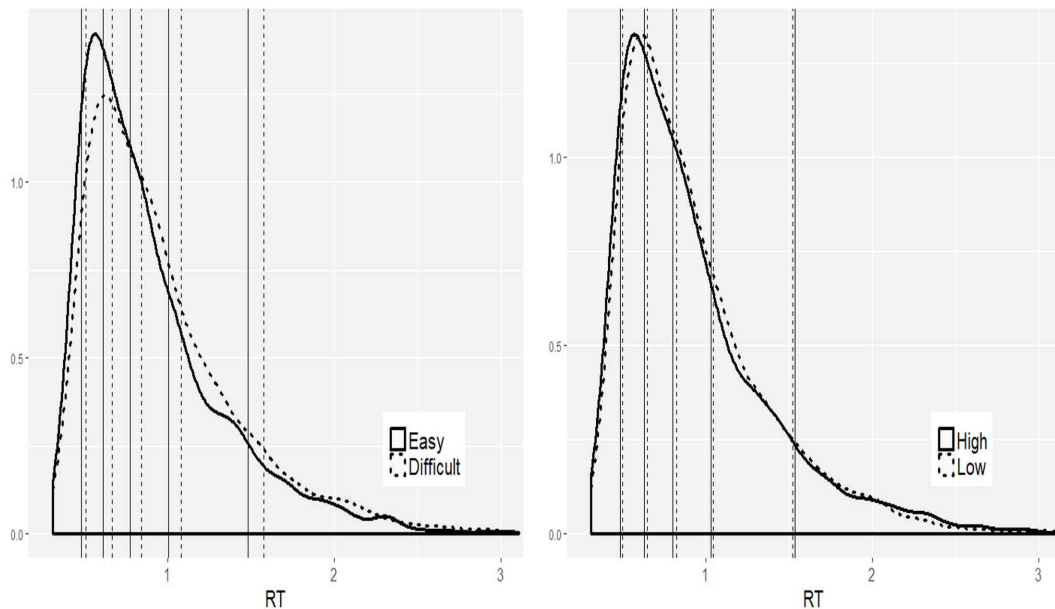


그림 10. 난이도 조건(좌측)과 확신도 조건(우측)에 따른 반응시간 분포 차이. 수직선은 각 조건 별 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 지점을 나타낸다.

제 3 절 논의

연구 1의 결과 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)의 연구 결과를 유사하게 재현할 수 있었다. 그러나 동시에 다음과 같이 보완해야 할 부분 또한 발견되었다.

우선 QUEST 절차가 고확신 조건과 저확신 조건의 정답률을 동일하게 조정하는 데에 부적합함이 드러났다. QUEST 절차는 특정한 분포를 상정하고 파라미터를 조정해나가기 때문에 참여자의 반응을 결정하는 심리물리적 함수가 이 분포와 부합하지 않을 경우 추정된 역치값이 신뢰롭지 못하게 된다. 본 연구에 사용된 자극은 일반적인 심리물리학 연구에서 사용되는 자극과 달리 여러 자극이 중첩되어 복잡한 구성을 이루고 있다. 가령 일반적인 탐지 실험에서 자극의 대비도를 일방향적으로 높여가면 정답률은 대비도에 로그를 취한 값에 비례하여 단조증가하는 경향을 보인다(Prins, 2016). 반면 본 연구에서 조정의 기준이 되는 파라미터인 $R_{PE/noise}$ 를 낮은 값에서 높은 값으로 증가시켰을 때 정답률이 단조증가하지 않았다. 이는 $R_{PE/noise}$ 를 증가시킴에 따라 $R_{NE/PE}$ 관계에 의해 타겟인 C_{PE} 뿐만 아니라 방해자극인 C_{NE} 역시 증가했기 때문이다. 이에 따라 추정된 파라미터가 신뢰롭지 못하여 고확신 조건의 정답률과 저확신 조건의 정답률이 동일하게 조정되지 않아 몇몇 참여자의 경우 쉬운 조건보다 어려움 조건에서 더 높은 정답률을 보이는 등, 연구의 핵심적인 목적에 위배되는 결과가 나타났다.

다음으로 방향에 대한 응답과 확신도에 대한 응답을 분리시키고자 한 실험자의 의도와 달리, 참여자가 두 응답을 함께 고려한 후 연속적으로 응답하는 패턴이 빈번히 관찰되었다. 즉 방향에 대한 참여자의 반응 시간은 방향에 대한 참여자의 지각적 의사결정 과정뿐만 아니라 확신도에 대한 메타적 의사결정 과정을 일부 포함하고 있을 가능성이 있어 이를 분리하여 확인해볼 필요가 제기되었다.

마지막으로 반응 시간 분포에 대한 정량적인 분석을 위해 변별 시행수를 적어도 400시행 이상으로 증가시켜야 할 필요가 생겼다.

제 3 장 연 구 2

연구 2에서는 연구 1에서 발생한 문제점을 극복하기 위해 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)의 실험을 목적에 맞게 수정하여 재현한 후 그들의 연구에서 탐색되지 않은 부분인 반응 시간과 메타 d'에 대한 분석을 진행할 것이다. 반응 시간은 메타적 의사결정과 관련하여 비교적 상세히 연구되어 있는 확산 모형을 적용하여 분석을 진행할 것이다.

제 1 절 연구 방법

참여자: 서울대학교에 재학 중인 학부생 16명이 연구에 참여하였다 (남성 6 연령: 평균=22.34 표준편차=1.60). 참여자는 서울대학교 심리학과에서 개설하는 과목을 수강 중인 학생들로 수업 참여의 일환으로 연구에 참여하고 크레딧은 승인받았다.

자극: 자극은 연구 1에 사용된 자극과 동일하였다. 연구 2에서는 자극이 시야각 3도로 제시되는 것을 유지하기 위해 모니터와 80cm 거리에서 참여자가 턱받침대에 고개를 얹은 상태로 실험을 진행하도록 하였다.

실험 설계: 연구 1과 마찬가지로 고확신-쉬움, 고확신-어려움, 저확신-쉬움, 저확신-어려움의 2x2 참여자 내 실험 조건을 구성하였다.

실험 절차: 연구 2의 실험 절차는 연구 1과 거의 동일하였다. 다만 다음의 몇 가지 사항에 있어 차이를 보였다. 첫 번째 블록은 연습 블록으로 참여자는 연구 1과 동일한 절차에 따라 60시행을 수행하였다. 두 번째 블록은 조정 블록으로 참여자가 확신도 조건 별로 6개 난이도 ($R_{PE/noise}$ 고확신 조건: 0.11, 0.14, 0.17, 0.20, 0.25, 0.30 저확신 조건: 0.06, 0.07, 0.09, 0.11, 0.14, 0.17)의 자극을 30시행 씩 총 360시행 수행하였다. 각 조건과 난이도의 자극은 무작위로 섞여 제시되었다. 세 번째 블록에서는 두 번째 블록에서 84% 정답률에 가장 근접한 것으로 확인된 $R_{PE/noise}$ 값을 따라 고확신-쉬움 조건과 저확신-쉬움 조건이 구성되고,

두 값에 각각 0.7을 곱하여 고확신-어려움 조건과 저확신-어려움 조건이 구성되었다. 네 종류의 시행은 무작위로 섞여 제시되었다. 참여자는 총 400시행을 진행하였으며 100시행마다 1분 이하의 휴식 시간을 가졌다. 마지막으로 참여자는 다섯 번째 블록을 진행할지 선택하였다. 다섯 번째 블록은 확신도 판단이 없다는 것을 제외하면 다른 블록들과 동일하였다. 참여자가 다섯 번째 블록까지 참여할 것을 선택하였을 경우 현금 보상 1만원이 지급되었다. 다섯 번째 블록에 참여한 인원은 총 8명이었다.

제 2 절 결과 분석

분석을 시작하기 전 반응 시간이 300ms 이하이거나 각 개인 별 3표준편차 이상인 시행은 제거되었다(총 6400시행 중 130시행). 평균 확신도에 대해 확신도 조건과 난이도 조건의 반복측정 이원변량분석을 수행한 결과 확신도 조건의 주효과와($F(1,15)=32.85, p<.01$) 난이도 조건의 주효과($F(1,15)=124.88, p<.01$)가 발견되었다. 즉 참여자들은 고확신 조건에 비해 저확신 조건에서 더 낮은 확신도를 보고하였고, 쉬움 조건에 비해 어려움 조건에서 더 낮은 확신도를 보고하였다(고확신 조건 쉬움 2.79 ± 1.04 , 고확신 조건 어려움 2.26 ± 1.08 , 저확신 조건 쉬움 2.44 ± 1.06 , 저확신 조건 어려움 1.79 ± 0.98).

다음으로 평균 d' 에 대해 확신도 조건과 난이도 조건의 반복측정 이원변량분석을 수행한 결과 난이도 조건의 주효과($F(1,15)=121.07, p<.01$)가 발견되었다. 즉 참여자들은 두 확신도 조건 모두에서 쉬움 조건에 비해 어려움 조건에서 더 낮은 d' 을 보였다(고확신 조건 쉬움 2.42 ± 0.60 , 고확신 조건 어려움 1.52 ± 0.59 , 저확신 조건 쉬움 2.42 ± 0.68 , 저확신 조건 어려움 1.59 ± 0.53).

정리하자면 각 조건에 따라 난이도는 동일하고 확신도에서만 차이나는 자극이 효과적으로 구현되었다고 할 수 있다(그림 11).

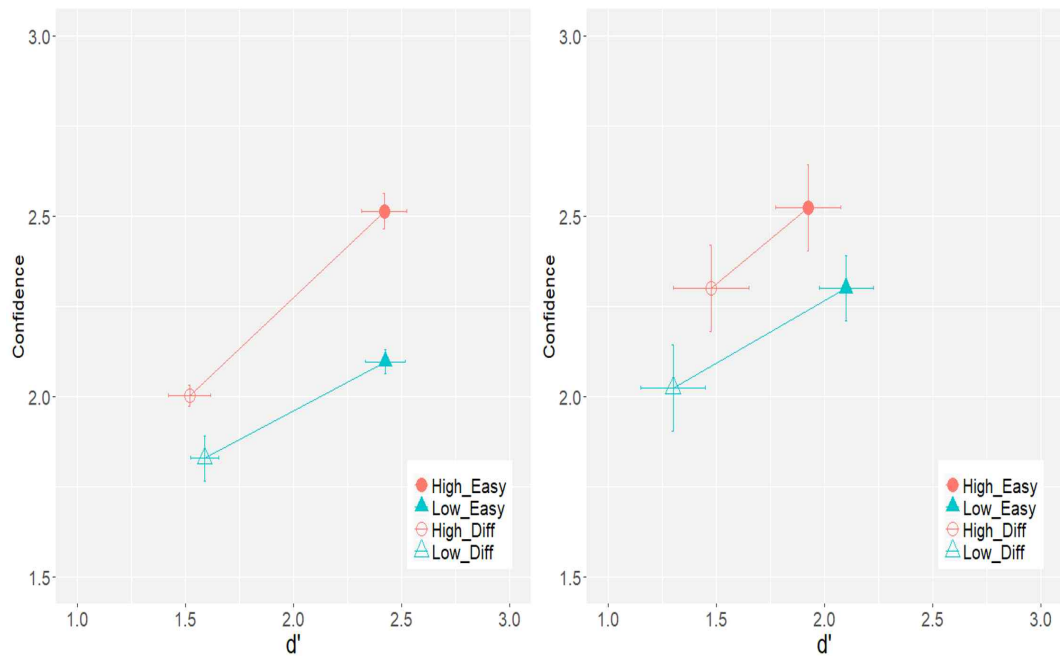


그림 11. 연구 2의 결과(좌측)와 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)(우측)의 결과 비교

다음으로 평균 반응 시간에 대해 확신도 조건과 난이도 조건의 반복 측정 이원변량분석을 수행한 결과 난이도 조건의 주효과($F(1,15)=11.76$, $p<.01$)와 확신도 조건과 난이도 조건의 상호작용효과($F(1,15)=17.86$, $p<.01$)가 발견되었다. 즉 참여자들은 쉬운 조건에서보다 어려운 조건에서 더 긴 반응 시간을 보였는데, 저확신 조건에서 그 증가폭이 더 컸다 ((고확신 조건 쉬움 0.91 ± 0.45 , 고확신 조건 어려움 0.93 ± 0.45 , 저확신 조건 쉬움 0.88 ± 0.41 , 저확신 조건 어려움 0.98 ± 0.45).

조건 별 반응시간의 분포를 정량적으로 비교하기 위해 확산 모형 분석을 시행하였다. 분석에는 SNUDM(고성룡, 민철홍, & 주혜리) 프로그램이 사용되었다. 이 프로그램은 EZ-diffusion(Wagenmakers, van der Maars, & Grasman, 2007)을 통해 초기값을 설정한 후 Simplex 알고리즘을 통해 데이터를 가장 잘 설명하는 확산 모형의 파라미터들의 값을 탐색한다. 이 때 각 조건 별로 서로 동일하거나 다른 값의 파라미터 값을 탐색하도록 설정할 수 있다. 본 연구의 경우 먼저 난이도 조건은 명

백히 자극의 질, 즉 확산 모형에서의 표류율 v 와 관련되는 것으로 생각된다. 다음으로 확산도 조건 역시 자극의 질이라는 관점에서 해석해볼 수 있다. Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)에서 비록 확산도 조건에 따른 인지통제 기능의 차이가 발견되지 않았지만, 만약 확산도가 그러한 기능을 하는 것이라면 그러한 차이를 유발할 수 있는 요인으로 참여자의 편향 등 다른 요소를 생각하기는 어렵기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 난이도 조건과 확산도 조건에 따라 다른 파라미터들은 고정하고 오직 표류율만 조건에 따라 다르게 탐색하도록 설정하였다.

먼저 반응 시간의 분포를 살펴보면 그림 12와 같다. 난이도 조건의 경우 어려운 조건에서 분포가 우측으로 더 넓게 퍼져있는 것을 확인할 수 있다. 반면 확산도 조건의 경우 분포의 전체 평균에 큰 차이는 나지 않지만, 분포의 극단값으로 갈수록 차이가 발생함을 알 수 있다. 이러한 반응시간 분포의 차이를 정량적으로 분석하기 위해 고확신-쉬움, 고확신-어려움, 저확신-쉬움, 저확신-어려움 조건의 반응시간 분포에서 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 지점을 찾아 SNUDM에 투입하였다. 그 결과는 표 1과 같다.

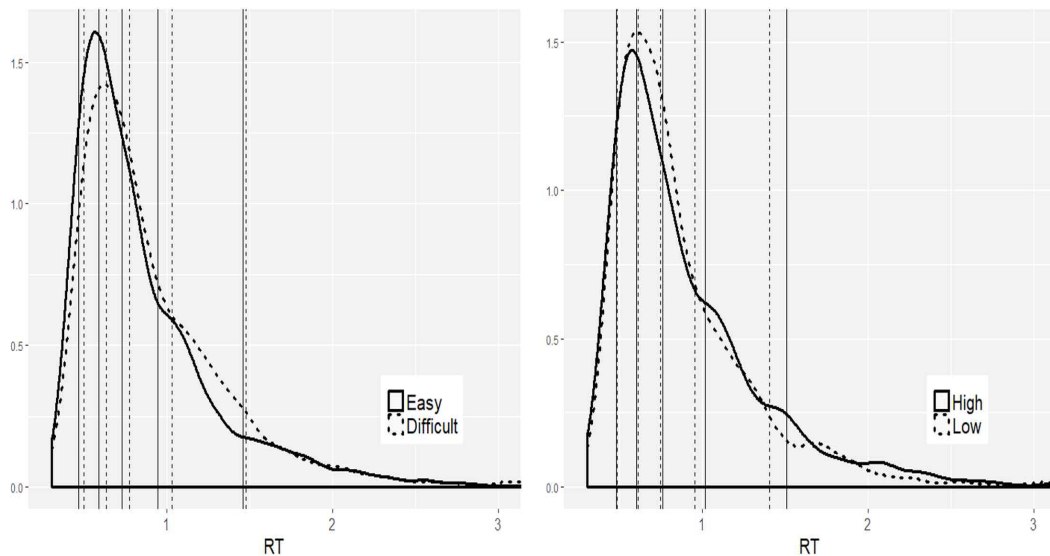


그림 12. 난이도 조건(좌측)과 확산도 조건(우측)에 따른 반응시간 분포 차이. 수직선은 각 조건 별 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 지점을 나타낸다.

표 1. 조건 별 반응 시간 분포에 대한 확산 모형 분석 결과

참여 자	MChi	a	z	sz	ter	ster	v_HE	v_LE	v_HD	v_LD	eta
1	53.530	0.126	0.077	0.010	0.350	0.058	0.177	0.246	0.222	-0.087	0.078
2	57.660	0.174	0.116	0.008	0.344	0.072	0.204	0.110	0.139	0.066	0.059
3	38.750	0.171	0.130	-0.037	0.424	0.122	0.220	0.313	0.221	0.186	0.094
4	33.460	0.126	0.083	0.014	0.378	0.107	0.385	0.556	0.343	0.264	-0.055
5	61.680	0.089	0.040	-0.037	0.438	-0.074	0.263	0.189	0.088	0.185	0.004
6	86.570	0.215	0.148	0.035	0.336	0.065	0.291	0.177	0.181	0.167	0.086
7	33.700	0.101	0.063	-0.021	0.357	-0.120	0.267	0.366	0.201	0.198	0.099
8	142.960	0.147	0.104	0.019	0.341	0.011	0.252	0.281	0.089	0.163	0.014
9	69.220	0.189	0.144	0.007	0.426	0.086	0.152	0.233	0.110	0.166	-0.030
10	56.650	0.118	0.067	0.012	0.410	0.078	0.243	0.201	0.156	0.162	-0.008
11	48.480	0.079	0.044	0.004	0.357	0.085	0.328	0.381	0.199	0.151	-0.023
12	85.270	0.147	0.093	-0.025	0.392	-0.004	0.170	0.093	-0.014	0.063	0.001
13	62.940	0.077	0.041	0.018	0.352	-0.140	0.233	0.267	0.172	0.154	0.073
14	49.330	0.078	0.040	-0.028	0.364	-0.129	0.364	0.175	0.048	-0.168	0.009
15	43.760	0.058	0.028	0.012	0.275	-0.070	0.349	0.364	0.165	0.268	-0.004
16	58.760	0.066	0.028	0.003	0.273	0.028	0.299	0.451	0.256	0.324	-0.031

a는 경계 위치, z는 확산 시작 지점, sz는 시작지점의 분산, ter은 비결정과정 시간, ster은 비결정과정 시간의 분산, v_HE, v_LE, v_HD, v_LD는 각각 고확신-쉬움, 저확신-쉬움, 고확신-어려움, 저확신-어려움 조건의 표류율, 그리고 마지막으로 eta는 표류율의 분산을 의미한다. 각 조건별로 자극의 질과 관계되는 표류율에 차이가 있는지에 대해 반복측정 이원변량분석을 시행한 결과 난이도의 주효과가 발견되었다

($F(1,15)=45.41, p<.01$). 즉 쉬운 난이도 조건에서는 어려운 난이도 조건에서보다 표류율이 높았다. 반면 확신도 조건에 따라서는 표류율의 차이가 발견되지 않았다.

다음으로 각 조건이 참여자의 메타인지 정확도에 영향을 미쳤는지 확인하기 위해 우선 각 참여자별 meta-d'을 계산하였다(Maniscalco, 2014). Meta-d'을 계산하는 과정에서 참여자의 자극 및 확신도 별 응답수가 수집되는데 본 연구의 경우 자극 2종류에 확신도 4수준이므로 총 8가지 항목에 따라 응답수가 수집되게 된다. 전체 400시행을 난이도와 확신도에 따라 4조건으로 나누어 분석할 경우 각 조건당 100시행이 할당되는데, 이를 8개 항목으로 나눈다면 각 항목 당 시행수가 지나치게 적어 추정이 신뢰롭지 못할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 주요한 관심사인 난이도에 대해서만 조건을 나누어 분석을 진행하였다. 메타인지 정확도에 대해 확신도 조건에 따라 반복측정 일원변량분석을 실시한 결과 확신도 조건의 주효과가 발견되었다($F(1,15)=9.37, p<.01$). 즉 참여자들은 고확신 조건에서보다 저확신 조건에서 더 효율적인 메타인지 수행을 보였다(고확신 조건 -0.37 ± 0.95 저확신 조건 0.60 ± 0.94).

마지막으로 확신도 평정을 하지 않을 경우 방향 평정의 반응 시간이 달라졌는지 확인하기 위해 평균 반응 시간에 대해 확신도 조건과 난이도 조건의 반복측정 이원변량분석을 수행한 결과 난이도 조건의 주효과($F(1,7)=67.00, p<.01$)가 발견되었다. 즉 참여자들은 쉬운 조건에서보다 어려운 조건에서 더 긴 반응 시간을 보였다(고확신 조건 쉬움 0.55 ± 0.22 , 고확신 조건 어려움 0.60 ± 0.25 , 저확신 조건 쉬움 0.56 ± 0.23 , 저확신 조건 어려움 0.62 ± 0.27). 즉 실험 절차상 방향 평정과 확신도 평정이 별도로 일어나도록 설계되어 있음에도 불구하고, 확신도 평정을 하지 않았을 때 방향 평정 시간이 크게 줄고(확신도 평정을 할 경우 평균 0.9초에서 하지 않을 경우 평균 0.6초) 난이도와 확신도의 상호작용 효과 또한 사라졌다(그림 13).

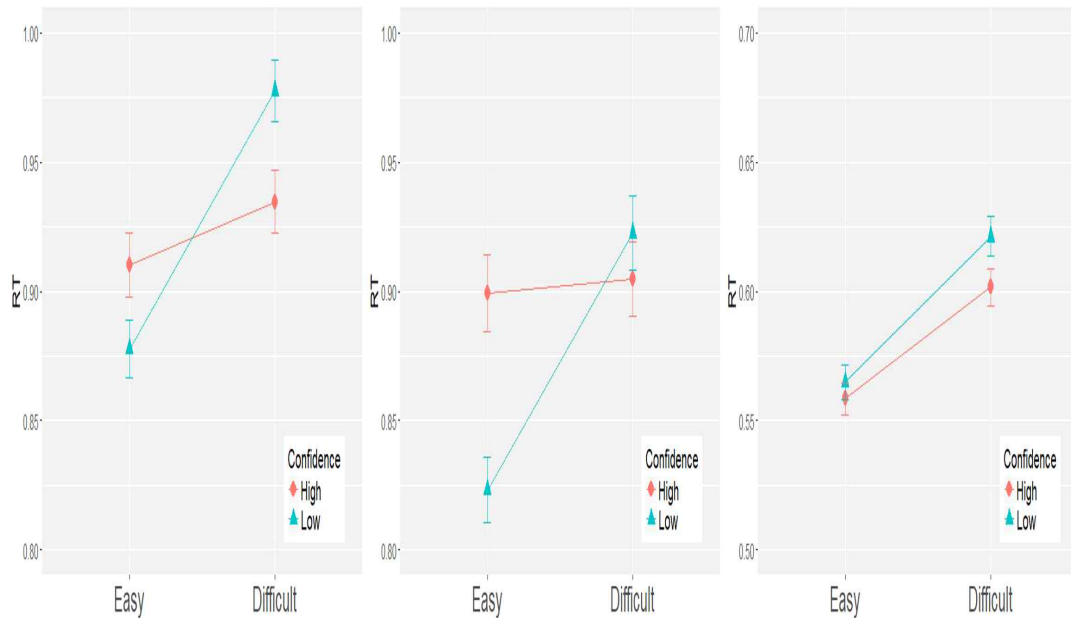


그림 13. 연구1의 조건별 평균 반응시간(좌측), 연구2에서 조건별 평균 반응시간(중간), 연구2에서 확신도 평정을 하지 않았을 경우 조건별 평균 반응시간(우측). 좌측과 중간 그래프는 y축의 범위가 0.80-1.00이며 우측 그래프는 y축의 범위가 0.50-0.70이다.

제 3 절 논의

연구 2에서는 여러 새로운 사실이 발견되었는데 다음과 같다. 우선 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)에서 설명된 방식을 통해 동일한 난이도에서 서로 다른 확신도를 가진 자극을 효과적으로 구성할 수 있다는 사실을 재확인하였다. 또한 이러한 확신도의 차이는 반응시간의 평균이나 반응시간의 분포에 영향을 주지 않으며, 오직 메타적 의사결정의 정확도에만 영향을 미침을 확인하였다. 또한 확신도 평정을 하지 않는 시행을 통해 확신도 평정이 방향 평정의 반응 시간에 체계적인 영향을 주었음을 확인하였다.

제 4 장 종 합 논 의

본 연구에서는 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)에서 발견된 결과를 보완하고 확장하여 메타적 의사결정의 정확도와 속도, 그리고 그에 수반하는 확신도에 대한 종합적인 이해를 추구하였다.

본 연구에서 확인된 주요한 사실은 다음과 같다. 첫째, 메타적 의사결정은 선택자극 편중의존 모형에 의해 잘 설명되는 부분이 있다. Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)에서 구성한 난이도는 동일하고 확신도는 차이나는 자극은, 감각자료 균형의존 모형에 따르면 존재할 수 없는 것이다. 감각자료 균형의존 모형에 따르면 난이도가 다른 자극은 확신도도 반드시 달라야 하기 때문이다. Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)에서 구성한 자극이 본 연구에서 두 차례에 걸쳐 반복 검증되었음은 이러한 효과가 강건한 것임을 보여준다.

둘째, 난이도의 차이는 확산 모형에서 표류율의 차이로 설명될 수 있다. 이는 확산 모형 또한 본 연구 결과를 잘 설명할 수 있음을 의미한다. Maniscalco, Peters, & Lau(2016)는 메타적 의사결정의 속도 및 정확도가 그들이 제안한 선택자극 편중의존 모형을 따르는 신호탐지론에 의해서 뿐만 아니라 확산 모형에 의해서도 잘 설명될 수 있음을 확인했다. 그러나 앞서 언급했듯 확산 모형은 확신도와 반응 시간 간의 역상관 관계를 예측하는데, Maniscalco, Peters, & Lau(2016)의 연구 결과에서는 그러한 패턴이 발견되지 않았다. 그들은 이러한 점에 근거하여 그들이 제안한 선택자극 편중의존 모형이 메타적 의사결정을 보다 잘 설명할 수 있다고 주장하였다. 이는 본 연구에 의해서도 지지되는 바이다. 본 연구에서 확신도 조건은 반응 시간의 평균이나 분포에 영향을 주지 않았음을 확인했기 때문이다. 그러나 이는 기존 연구에서 확신도와 반응 시간의 역상관 관계가 꾸준히 발견되어 왔음을 고려하면 매우 의외의 결과이다. 본 연구에서도 확신도가 난이도와 마찬가지로 자극의 질의 일종으로 해석할 수 있고 따라서 반응 시간에 영향을 줄 것으로 가정하였으나 이러한 영향력은 확인되지 않았다. 따라서 이러한 의문스러운 현상을 보다

구체적으로 파악하기 위해 고확신-저확신 집단 간 차이 대신 시행별 확신도와 반응 시간의 관계를 탐색해볼 필요가 있다.

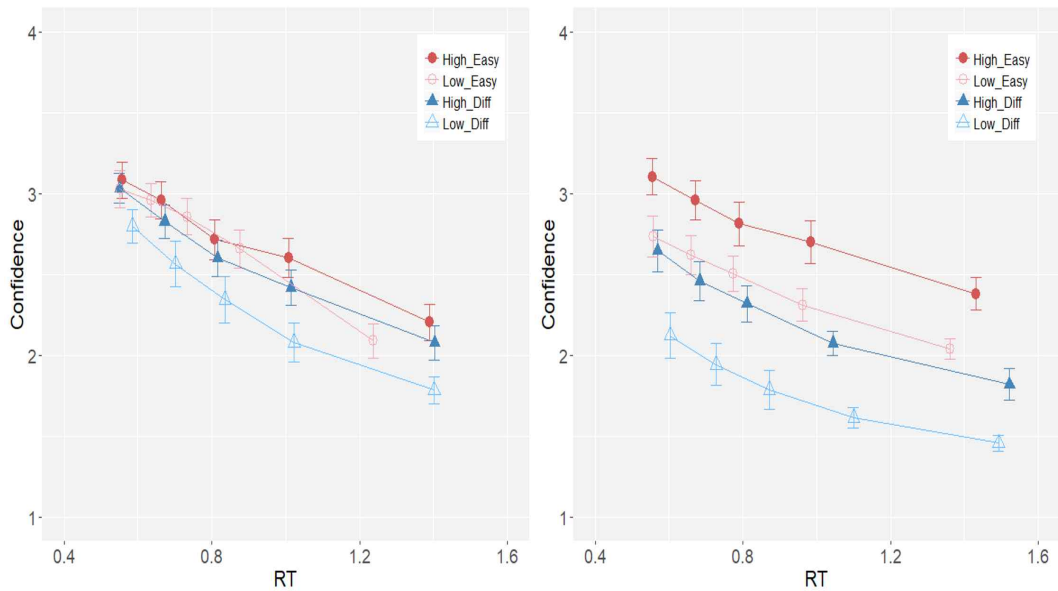


그림 14. (좌측) 연구1의 반응시간분포 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 지점에서 반응시간과 확신도의 관계 (우측) 연구2의 반응시간분포 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 지점에서 반응시간과 확신도의 관계

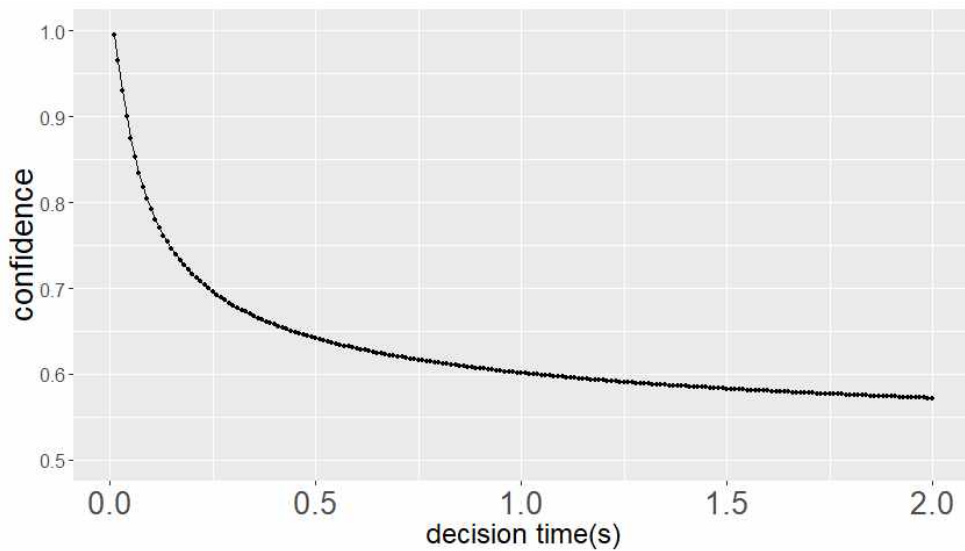


그림 15. 확산 모형이 예측하는 반응 시간과 확신도의 관계

이를 위해 우선 연구 1과 연구 2의 반응시간 자료에서 loess 회귀분석을 통해 각 개인별로 독립변수 반응시간과 종속변수 확신도의 관계식을 만들었다. 그 후 이 회귀식의 반응시간 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 지점에서 추정된 확신도를 개인 별, 조건 별로 산출한 후 평균과 표준오차를 계산했다. 이를 나타낸 그래프가 그림 14이다. 그림 14를 살펴보면 앞서 서론에서 설명한 확산 모형이 예측하는 반응 시간과 확신도의 관계(그림 15)와 비교적 유사함을 알 수 있다. 이러한 패턴은 전체 집단에서 뿐만 아니라 각 개인별로도 매우 일관적으로 나타났다(그림 16). 각 개인별 반응시간과 확신도의 상관계수의 평균은 -0.368 로 나타났다.

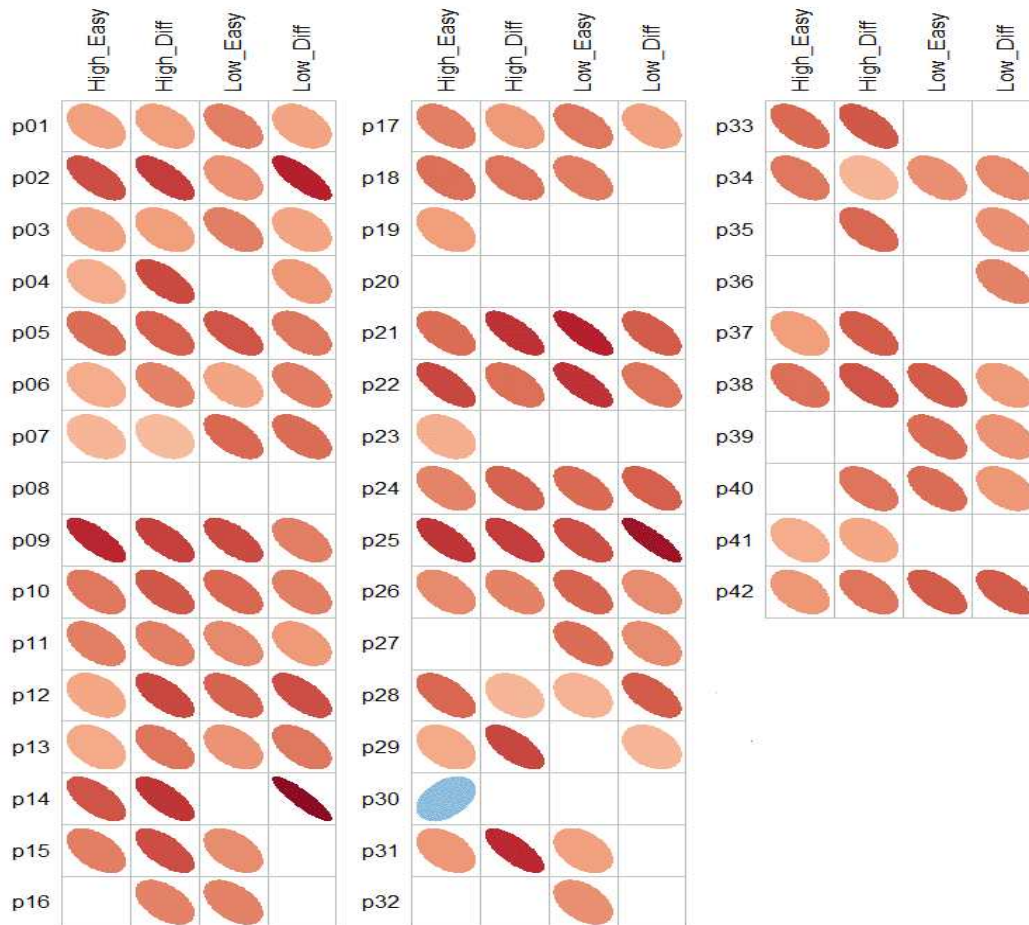


그림 16. 각 개인별, 조건별 반응시간(가로)과 확신도(세로)의 상관관계. 타원의 폭이 좁을수록 더 강한 상관관계를 의미한다. 빈칸은 유의하지 않은 경우이다.

정리하면 전통적인 연구 결과와 일치하게 본 연구에서도 확신도와 반응시간이 역상관 관계에 있음이 확인되었다. 이렇듯 분명 확신도와 반응시간 간에 잘 정립된 상관관계가 존재함에도 불구하고, Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)가 구현한 고확신 조건과 저확신 조건 간에는 어떠한 반응시간의 차이도 발견되지 않았다는 것은 매우 놀라운 일이다. 다시 말해서, 고확신 조건의 반응들은 동일한 정답률의 저확신 조건 반응들과 비교하여 반응시간 차원의 이득을 전혀 얻지 못했다. Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)에 의 연구에서도 확인되었듯 이러한 고확신 조건의 반응들은 인지통제 기능 차원의 이득을 가져다주지도 않았다. 또한 본 연구에서 확인되었듯이, 고확신 조건의 자극들은 오히려 메타적 의사결정의 정확도를 떨어뜨리기까지 했다. 전통적으로 빠르고 정확한 처리에 수반되는 '고확신'과 Koizumi, Maniscalco, & Lau(2015)가 구현한 '고확신' 자극들이 보이는 이러한 양상 차이는 두 확신도가 서로 다른 요인에 기반하고 있음을 시사할 수도 있다. 향후 이 두 종류의 확신도가 과잉확신과 같은 비적응적인 현상에 어떻게 차별적으로 기여하는지 탐구해 볼 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 고성룡, 민철홍, & 주혜리. 확산모형 분석도구: SNUDM. Unpublished manuscript.
- Brainard, D. H., & Vision, S. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 10, 433-436.
- Buehler, R., Griffin, D., & Peetz, J. (2010). Chapter one-the planning fallacy: cognitive, motivational, and social origins. *Advances in experimental social psychology*, 43, 1-62.
- Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79(1), 1-37.
- Fuentes, L. M., & Velastin, S. A. (2004). Tracking-based event detection for CCTV systems. *Pattern analysis and applications*, 7(4), 356-364.
- Gewaltig, M. O., & Cannon, R. (2014). Current practice in software development for computational neuroscience and how to improve it. *PLoS computational biology*, 10(1), e1003376.
- Gold, J. I., & Shadlen, M. N. (2007). The neural basis of decision making. *Annu. Rev. Neurosci.*, 30, 535-574.
- Heekeren, H. R., Marrett, S., & Ungerleider, L. G. (2008). The neural systems that mediate human perceptual decision making. *Nature reviews neuroscience*, 9(6), 467-479.
- Kiani, R., & Shadlen, M. N. (2009). Representation of confidence associated with a decision by neurons in the parietal cortex. *science*, 324(5928), 759-764.
- Koizumi, A., Maniscalco, B., & Lau, H. (2015). Does perceptual confidence facilitate cognitive control?. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(4), 1295-1306.

- Kruger, J., & Dunning, D. (1999). Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *Journal of personality and social psychology*, 77(6), 1121.
- Maniscalco(2014). <http://www.columbia.edu/~bsm2105/type2sdt/>
- Maniscalco, B., & Lau, H. (2012). A signal detection theoretic approach for estimating metacognitive sensitivity from confidence ratings. *Consciousness and cognition*, 21(1), 422-430.
- Michelson, A. A. (1995). *Studies in optics*. Courier Corporation.
- Moore, D. A., Tenney, E. R., & Haran, U. (2015). Overprecision in judgment. *The Wiley Blackwell handbook of judgment and decision making*, 182-209.
- Moreno-Bote, R. (2010). Decision confidence and uncertainty in diffusion models with partially correlated neuronal integrators. *Neural computation*, 22(7), 1786-1811.
- Persaud, N., McLeod, P., & Cowey, A. (2007). Post-decision wagering objectively measures awareness. *Nature neuroscience*, 10(2), 257-261.
- Prins, N. (2016). *Psychophysics: a practical introduction*. Academic Press.
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological review*, 85(2), 59.
- Ratcliff, R., & McKoon, G. (2008). The diffusion decision model: theory and data for two-choice decision tasks. *Neural computation*, 20(4), 873-922.
- Townsend, J. T., & Ashby, F. G. (1983). *Stochastic modeling of elementary psychological processes*. CUP Archive.
- Van Orden, G. C., Holden, J. G., & Turvey, M. T. (2003).

- Self-organization of cognitive performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(3), 331.
- Vickers, D. (2014). *Decision processes in visual perception*. Academic Press.
- Wagenmakers, E. J., Van Der Maas, H. L., & Grasman, R. P. (2007). An EZ-diffusion model for response time and accuracy. *Psychonomic bulletin & review*, 14(1), 3-22.
- Watson, A. B., & Pelli, D. G. (1983). QUEST: A Bayesian adaptive psychometric method. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 33(2), 113-120.
- Zylberberg, A., Barttfeld, P., & Sigman, M. (2012). The construction of confidence in a perceptual decision. *Frontiers in integrative neuroscience*, 6.